

IAP20 Rec'd 10/10 30 JAN 2006

Verfahren und Vorrichtung zum Messen eines Fluiddrucks mittels eines Stellgeräts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Druckmessung eines Fluids gemäß Oberbegriff von Anspruch 1.

Aus der EP 1 282 544 A1 ist es bekannt, in ABS-Steuergeräten für Kraftfahrzeugbremsysteme, aber auch in sogenannten Fahrdynamikreglern mit zusätzlichen Funktionen wie ESP etc., zur Messung des Hydraulikdrucks in den Radbremsen Drucksensoren mit einer Messmembran, deren Verformung Rückschluss auf den anliegenden Differenzdruck gibt, einzusetzen.

Die zusätzliche Bereitstellung von Drucksensoren in einem hochintegrierten elektronischen Bremsensteuergerät hat einen unerwünscht großen Einfluss auf den benötigten Bauraum und die Herstellungskosten des Steuergeräts.

Es wurde nun gefunden, dass sich die vorstehend beschriebenen Nachteile durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 überwinden lassen, bei dem ein zur Steuerung oder Regelung des Hydraulikdrucks einsetzbarer Aktor, welcher insbesondere ein Hydraulikventil ist, zur Druckmessung eingesetzt wird.

Der Einsatz eines Aktors als Drucksensor wird dadurch möglich gemacht, dass der den mechanischen Teil des Aktors ansteuernde magnetische Teil der Anordnung einem Regelkreis unterworfen wird, welcher insbesondere die auf den mechanischen Teil einwirkende Kraft regelt. Auf diese Weise kann eine Druckmessung mittels eines Stellgeräts ohne zusätzliche Drucksensoren durchgeführt werden.

Unter dem Begriff Stellgeräte werden Ventile und Schieber zum Einstellen eines Fluiddurchflusses verstanden. Bevorzugt handelt es sich bei dem eingesetzten Stellgerät um ein Ven-

til. Als bevorzugtes Fluid kommt neben Luft auch eine geeignete Hydraulikflüssigkeit in Betracht, welche bei der Anwendung einer Bremse insbesondere eine handelsübliche Bremsflüssigkeit ist.

Das Stellgerät besitzt vorzugsweise eine vollständig geöffnete und eine vollständig geschlossene Position. Je nach Art des Stellgeräts, stromlos offen (SO-V) oder stromlos geschlossen (SG-V), nimmt die Ventilbetätigungseinrichtung (z.B. der Ventilstößel) eine dieser Positionen, hervorgerufen durch ein Rückstellelement ein. Ein geeignetes Rückstellelement kann bevorzugt eine Feder sein, welche eine definierte Kraft/Weg-Kennlinie aufweist, die sich nach dem Verfahren bevorzugt durch eine Geradengleichung annähern lässt. Wie weiter unten weiter ausgeführt wird, kann im Falle eines Kräftegleichgewichts am Ventilbetätigungselement der Stellgeräteöffnungshub (Position der Ventilbetätigungseinrichtung) aus der messbaren magnetischen Kraft berechnet werden.

Dass Stellgerät umfasst eine elektromagnetische Anordnung, in der mittels der Ansteuerung einer Erregerspule ein mechanisches Betätigungselement bewegbar ist. Bei dem beschriebenen Betätigungselement handelt es sich vorzugsweise um einen axial beweglichen, magnetisierbaren Anker, welcher durch das Magnetfeld der Erregerspule bewegt werden kann. Insbesondere befindet sich dieser Anker innerhalb eines Ventildoms.

Die magnetische Kraft oder der Stellgeräteöffnungshub, welche/welcher nach dem Verfahren der Erfindung geregelt wird, lässt sich bevorzugt aus der aufintegrierten induzierten Spannung bestimmen. Wie bereits erwähnt, kann die magnetische Kraft in den Öffnungshub durch Anwendung der bekannten Kraft-/Weg-Gleichung für das Rückstellelement berechnet wer-

den, wenn der Kraft/Weg-Zusammenhang bekannt ist.

Im magnetischen Kreis ist das Stellgerät vorzugsweise mit einem oder mehreren zusätzlichen Messelementen zur Bestimmung des Magnetflusses versehen, wobei das zusätzliche Messelement insbesondere eine Messspule ist.

In neueren Generationen von Hydraulikregelvorrichtungen werden sogenannte analogisierte Schaltventile eingesetzt. Ein solches vorzugsweise in dem erfindungsgemäßen Verfahren eingesetztes analogisiertes Schaltventil ist ein stromangesteuertes Magnetventil, welches nicht nur zum vollständigen Öffnen oder Schließen ausgelegt ist, jedoch durch gezielte Stromeinstellung und dessen konstruktive Auslegung so betrieben wird, dass dieses analoge Regeleigenschaften besitzt.

Das Verfahren nach der Erfindung wird bevorzugt in einer elektrohydraulischen Vorrichtung zur Bremsenregelung für Kraftfahrzeuge eingesetzt.

Für eine genaue Druckmessung ist es vorteilhaft, wenn der Stellgeräteöffnungshub auf einen vorbestimmten Wert eingestellt wird. Hierzu muss der entsprechende Erregerstrom im drucklosen Zustand zunächst einmal bekannt sein. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich nicht unerhebliche Streuungen von Stellgerät zu Stellgerät einer Produktionsserie ergeben, welche die Einstellung des gewünschten Stroms nicht ohne weiteres mit der notwendigen Genauigkeit zulässt. Daher ist es zweckmäßig, z.B. individuelle Kennlinien für das Ventil verfahrensmäßig zu nutzen, welche zumindest Toleranzen der Mechanik, wie z.B. schwankende Federkraft F_{Feder} , und unterschiedliche magnetische Widerstände der Luftspalte, ausgleichen können.

Hierzu kann auf eine vorhandene Kennlinie oder auf eine nach dem folgenden Verfahren ermittelbare Kennlinie (drucklose Kalibrierung) zurückgegriffen werden. An Stelle von Kennlinien können auch Kenngrößen oder Kennfelder herangezogen werden, die insbesondere in einer Recheneinheit gespeichert sind. Zum Ermitteln der Kennlinie wird vorzugsweise die nachfolgend als drucklose Kalibrierung bezeichnete Routine durchgeführt, bei der eine oder mehrere stellgerätespezifischen Kennlinien, Kennfelder oder Kenngrößen KG_{ind} für das Stellgerät ermittelt werden, so dass vermittels dieser Kenngrößen der Zusammenhang zwischen Durchfluss G , der Stromstärke I in der Erregerspule und der vorliegenden Druckdifferenz ΔP festgelegt ist.

Der Kalibriervorgang erfolgt bevorzugt unter Berücksichtigung des Öffnungswegs l und/oder der Federkraft F_{Feder} und/oder des magnetischen Widerstand des Stellgeräts.

Vorzugsweise werden bei der Messroutine individuelle magnetische und mechanische Kenngrößen KG_{ind} des Stellgeräts berücksichtigt, welche im wesentlichen für die fertigungsbedingte Streuung in der jeweiligen Kennlinie verantwortlich sind. Die weniger fertigungsbedingt streuenden Kenngrößen des Stellgeräts lassen sich bevorzugt durch weitere, allgemeine Kenngrößen KG_{all} einmal für die Baureihe festlegen und im elektronischen Steuergerät dauerhaft speichern. Aus den individuellen und allgemeinen Kenngrößen kann dann die Stellgerätekennlinie und damit der erforderliche differenzdruckabhängige Ansteuerstrom für das Stellgerät berechnet werden.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform des Kalibrierverfahrens wird der magnetische Gesamtwiderstand des magnetischen

Kreises gemessen. Generell gilt, dass an Stelle des magnetischen Widerstands auch die Induktivität L des entsprechenden Magnetkreises, bezogen auf die Windungszahl N der Spule, als äquivalente physikalische Größe in entsprechender Weise zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens herangezogen werden kann. Dabei wird insbesondere der magnetische Widerstand in der vollständig geöffneten und/oder vollständig geschlossenen Stellgeräteposition bestimmt. Ganz besonders bevorzugt wird bei der Kalibrierung der maximale Stößelhub und/oder die Federkraft bestimmt.

Vorzugsweise ist das Stellgerät mit einer oder mehreren zusätzlichen Messelementen, insbesondere Messspulen versehen. Die Messspule kann elektrisch unabhängig von der Ansteuer-spule geschaltet sein. Es ist aber nach einer bevorzugten Ausführungsform möglich, die Messspule elektrisch in Reihe mit der Ansteuerspule zu schalten. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass lediglich drei Ansteuerleitungen nach außen geführt werden müssen.

Mit Hilfe eines nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung im Bereich des Stellgeräts angeordneten Messelements ist es möglich, innere physikalische Parameter des Stellgeräts zu ermitteln und diese bei der Berechnung des Drucks zu berücksichtigen.

Vorzugsweise können als Messelement außer der Spule prinzipiell alle magnetfeldabhängigen Sensoren (z.B. Hallsensoren, MR-Sensoren) verwendet werden, wenn sie zur Erfassung des wirksamen magnetischen Flusses geeignet sind. Der Einsatz einer Spule erscheint jedoch auf Grund der Möglichkeit einer kostengünstigen Fertigung besonders zweckmäßig.

Die auf Grundlage der Bilanzgleichung $F_{\text{Feder}} + F_{\text{Hydraulik}} = F_{\text{magn}}$ bei einer bestimmten Druckdifferenz ermittelten sogenannten Halteströme entsprechen noch nicht ganz genau den für das Öffnen des Ventils tatsächlich notwendigen Öffnungsströmen, da diese durch Strömungseffekte immer etwas niedriger sind, als die berechneten Halteströme. Es hat sich gezeigt, dass die genauere Öffnungsstromkennlinie $I_{\text{Öffnung}}(\Delta P)$ bevorzugt dadurch ermittelt werden kann, dass in dem benötigten Druckdifferenzbereich der Haltestromkennlinie $I_{\text{Halte}}(\Delta P)$ ein konstanter negativer Stromoffset $I_{\text{kor}}^{\text{const}}$ zuaddiert wird. Nach einer bevorzugten Ausführungsform des Kalibrierverfahrens wird deshalb der Ventilöffnungsstrom des Ventils an Stelle des Haltestroms zu Grunde gelegt. Hierzu wird insbesondere der Ventilöffnungsstrom durch einen Korrekturterm korrigiert, welcher im einfachsten Fall ein konstanter Stromoffset ist. Neben dieser sogenannten Öffnungsstromkorrektur ist es außerdem möglich und bevorzugt einen weiteren Korrekturterm vorzusehen, welcher den stromabhängigen Einfluss des ferromagnetischen Magnetkreises mitberücksichtigt. Neben der zuvor beschriebenen magnetischen Korrektur kann es außerdem zweckmäßig sein, eine thermische Korrektur unter Berücksichtigung des ohmschen Erregerspulenwiderstands durchzuführen.

Die Ansteuerung der Erregerspule, welche das Stellgerät ansteuert, erfolgt vorzugsweise mittels eines pulsweitenmodulierten Stroms (PWM), wobei der Spulenwiderstand insbesondere über den duty-cycle der PWM-Ansteuerung bestimmt wird. Ganz besonders bevorzugt fließt der Spulenwiderstand bei der Berechnung der stellgeräteindividuellen Parameter KG_{ind} zur Erhöhung der Genauigkeit mit ein.

Nach dem Verfahren bevorzugt wird zum Ermitteln des Magnetflusses oder der magnetischen Kraft das Integral über die induzierte Spannung im magnetischen Kreis des Stellgeräts

bestimmt. Gemäß einer weiteren unabhängigen Ausführungsform des Verfahrens der Erfindung wird die Messung des Integrals am Spulenabgriff bzw. am Abgriff der Messspule mittels einer besonders einfach aufgebauten sogenannten elektronischen Rechteckformerschaltung durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein Verfahren zum Ermitteln des magnetischen Flusses in mindestens einem über eine Treiberstufe elektrisch ansteuerbaren induktiven Stellgerät durch Auswertung oder Einstellen der an der Erregerspule des Stellgeräts induzierten Spannung U_{ind} mittels einer elektronischen Messeinrichtung, wobei die an der Spule anliegende Spannung aktiv durch die Messeinrichtung oder die elektronische Ansteuerung des induktiven Stellgerätes oder Aktor-Bauelements auf einem im wesentlichen konstanten Wert gehalten wird und die Zeit t_1 bestimmt wird, in der der durch das induktive Bauelement und die Messeinrichtung fließende Strom beim Einschalten oder Abschalten eine Spannung induziert.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen an Hand von Figuren.

Es zeigen

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der Hydraulikkomponenten eines Druckregelventils,
- Fig. 2 ein Prinzipschaltbild eines Regelkreises zum Einregeln einer konstanten Stößelposition,
- Fig. 3 eine Skizze zur Erläuterung der prinzipiellen geometrischen Form an der engsten Stelle im Ventil und

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Kraftfahrzeug-bremsenssteuergeräts.

In Fig. 1 wird Ventilstößel 1 von einer nicht dargestellten elektromagnetischen Anordnung axial in die Richtungen von Pfeil 7 bewegt, so dass die Stößelfläche 5 abdichtend in Ventilsitz 3 eingeführt wird. Die Kraft von Feder 2, welche auf Ventilsitz 3 aufsitzt, wirkt auf Ventilstößel 1 in Richtung von Pfeil 8 (F_{Feder}). Die elektromagnetische Anordnung erzeugt eine Kraftkomponente F_{magn} in Richtung des Pfeils 9. Im Bereich des zum Radbremszylinder führenden Bremskreises herrscht ein Druck, welcher mit p_3 bezeichnet ist. Im einem nicht dargestellten druckerzeugenden Hauptzylinder der Bremsanlage liegt der Druck p_1 an. Pfeil 10 gibt die Kraft- richtung der hydraulischen Kraft F_p an, welche auf Stößel 1 wirkt.

Die schematische Darstellung in Fig. 1 dient zur Erläuterung der bei der Abschätzung der hydraulischen Kraft berücksichtigten Einflussgrößen. Als die am Ventilstößel wirkenden Kräfte sind zum einen die Strömungskraft F_{str} zu nennen, die sich aufgrund der hohen Geschwindigkeit im engsten Querschnitt A_2 und dem daraus resultierenden Unterdruck p_2 ergibt, was zu einem Zuziehen des Ventils in Richtung von $F_{\text{str, axial}}$ führt, zum anderen die Druckkraft F_p , die durch das Drücken der Flüssigkeit auf den Stößel entsteht, was zu einem Öffnen des Ventils führt (falls gilt $p_1 \geq p_3$). Für die Strömungskraft wird die übliche, aus der Bernoulli-Gleichung abgeleitete Formel angesetzt:

$$Q = \alpha_p A_2 \sqrt{2 \frac{(\Delta p)}{\rho}}$$

wobei Q der Volumenstrom, A_2 die Durchströmfläche im engsten

Querschnitt, α_D der Durchflusskoeffizient, $\Delta p = p_1 - p_3$ der Differenzdruck und ρ die Dichte der Bremsflüssigkeit ist.

Zur Vereinfachung wird dabei angenommen, dass der Durchflusskoeffizient $\alpha_D \approx [0.58 \dots 0.7]$ relativ konstant ist gegenüber dem Öffnungshub x .

Bei Vernachlässigung des instationären Teils der Strömungskraft kann diese angegeben werden zu:

$$F_{Sr} = \rho v_2 Q$$

wobei v_2 die Strömungsgeschwindigkeit an der engsten Stelle ist. Es gilt außerdem $Q = A_2 v_2$. Hieraus ergibt sich die Strömungskraft zu

$$F_{Sr} = 2 A_2 \alpha_D^2 \Delta p$$

Auf den Stößel wirkt nur die axiale Komponente dieser Kraft. Über ε , dem Winkel zwischen der Ventilachse und der Strömung im Bereich des engsten Querschnitts, lässt sich die axial wirkende Strömungskraft angeben:

$$F_{Sr, axial} = F_{Sr} \cos \varepsilon$$

Die Fläche der sogenannten Hub-Blende an der engsten Stelle lässt sich über die Mantelfläche eines geraden Kegelstumpfs recht genau bestimmen, wie dies in Fig. 3 modellhaft skizziert ist. Dabei gilt folgender Zusammenhang:

$$A_2 = l * \pi \frac{\varnothing_{sit} + \varnothing_{in}}{2},$$

wobei $l = x \sin \varepsilon$ ist.

Aufgrund der strömenden Flüssigkeit durch das geöffnete Ventil entsteht eine zusätzliche Druckkraft F_P , die der Strömungskraft F_{Str} im Falle $P_3 < P_1$ im Wirkungssinn entgegengesetzt ist, im Falle $P_3 > P_1$ jedoch mit gleichem Wirkungssinn angreift.

Die Druckkraft ist proportional zum Differenzdruck:

$$F_P = \alpha_{\text{kor}} * A_1 * \Delta p$$

Der Korrekturfaktor $\alpha_{\text{kor}} \leq 1$ soll zum Ausdruck bringen, dass der Druck zum Rande des Stößels hin abnimmt.

Die Federkraft lässt sich beschreiben durch die Formel

$$F_{\text{Feder}} = D * x.$$

Aus dem bereits erwähnten Kräftegleichgewicht am Stößel ergibt sich folgende Differentialgleichung für die Bewegung des Stößels:

$$F_P - F_{Str, \text{ axial}} = F_{\text{magn}} - F_{\text{Feder}} + m_{\text{Stößel + Anker}} \ddot{x}$$

Fig. 2 stellt eine mögliche Schaltungsanordnung für die erfindungsgemäße Stößelhubregelung dar. x_{Soll} bezeichnet den Sollwert für die Stößelstellung. Der Startwert x_{Soll} ist durch einen im Speicher des Reglers abgelegten Kennwert festgelegt. Durch Regler 12 wird Stößelhub x konstant gehalten. Damit ist die Beschleunigung null. Die Differentialgleichung kann nach der magnetischen Kraft aufgelöst werden und die einzelnen Kräfte entsprechend eingesetzt werden zu:

$$F_{\text{magn}} = \alpha_{\text{kor}} A_1 \Delta p - \pi x \sin \varepsilon \frac{\varnothing_{\text{stz}} + \varnothing_{\text{in}}}{2} \alpha_D^2 2 \Delta p \cos \varepsilon + Dx$$

Diese Gleichung lässt sich unter Verwendung der Konstanten a und b auch einfacher formulieren:

$$F_{\text{magn}} = a * \Delta p + b,$$

Die Konstanten a und b hängen dabei nur von der Geometrie, der Federkonstanten und der konstant eingeregelter Stößelposition ab.

Aus der Beziehung von magnetischer Kraft zu magnetischem Fluss lässt sich der magnetische Fluss angeben zu:

$$\Phi = \sqrt{2\mu_0 A_{\text{Anker}} (a * \Delta p + b)}$$

Entsprechend der nachfolgend beschriebenen alternativen Berechnungsmethode kann eine noch weitere Erhöhung der Genauigkeit bei der Druckbestimmung erzielt werden.

Somit lässt sich mittels der weiter unten beschriebenen Messung des magnetischen Flusses über das Integral der induzierten Spannung die Druckdifferenz über dem Ventil qualitativ bestimmen.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass es zur Berechnung eines genauen quantitativen Zusammenhang zweckmäßig erscheint, noch die nachfolgend erwähnten Einflussgrößen zu berücksichtigen:

- Der in Fig. 1 bezeichnete Querschnitt A_1 lässt sich als

eine erste Strömungsblende auffassen, so dass sich die Möglichkeit ergibt, das Modell als eine Reihenschaltung aus zwei Blenden zu beschreiben. Aus diesem Modell kann dann ein gemittelter Durchfluss berechnet werden.

- Der Druckabfall der besagten ersten Blende A_1 kann bei der Berechnung eines Korrekturterms für einen Druckabfall berücksichtigt werden.

Für die weitere Erläuterung der Erfindung erscheint es sinnvoll, die folgenden mathematischen Zusammenhänge anzugeben:

Die magnetische Kraft ergibt sich aus

$$F_{\text{magn}} = \frac{1}{2 * \mu_0 * A_{\text{Anker}}} * \Phi^2 ,$$

wobei μ_0 die Permeabilitätskonstante (Luft), A_{Anker} die Ankerfläche und Φ der magnetische Fluss ist.

Der magnetische Fluss errechnet sich nach der Formel

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_{\text{m,gesamt}}} \quad \text{mit} \quad \Theta = I * N ,$$

wobei I der Spulenstrom, N die Windungszahl der Ventilschule und $R_{\text{m,gesamt}}$ der gesamte magnetische Widerstand des Magnetkreises im Ventil ist.

Weiterhin gilt:

$$U_{\text{ind}} = -N * \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{sowie} \quad \Phi = -\frac{1}{N} \int_0^t U_{\text{ind}} dt .$$

Fig. 4 stellt schematisch eine elektrohydraulische Regelvorrichtung für Personenkraftfahrzeugbremsen dar, welche aus Reglergehäuse 13 (ECU) mit einem Mikrocontrollersystem und einem mit diesem verbundenen Ventilblock 14 (HCU) besteht. Beim Zusammenbau der Regelvorrichtung werden die Erregerspulen 15 über die Ventildome 16 geschoben, welche die im Zusammenhang mit Fig. 1 beschriebenen Ventile enthalten. Der Regler umfasst außerdem eine Ansteuerschaltung, mit der der Strom I der einzelnen Erregerspulen individuell für jedes Ventil pulsweitenmoduliert eingestellt und auch gemessen werden kann. Regler 13 umfasst hierzu für jedes Ventil individuell ansteuerbare PWM-Treiberstufen. An den Klemmen 17 der Erregerspulen sind nicht dargestellte Messeinrichtungen vorgesehen, mit denen die Induktionsspannung $U_{ind}(t)$ gemessen werden kann.

Beim Abschalten des Erregerstroms I ergibt sich eine Änderung des magnetischen Flusses Φ in Ventilschule 15, welche über den Verlauf der Induktionsspannung U_{ind} an der Spule gemessen werden kann. Hierzu wird in einer nicht dargestellten Messeinrichtung das zeitliche Integral über den Verlauf der induzierten Spannung U_{ind} gebildet und dem Mikrocontroller des Reglers 13 zugeführt. Dieses Signal ist proportional zum durch die Ventilschule hervorgerufenen magnetischen Fluss Φ , aus dem sich der Druck nach der oben angegebenen Formel berechnen lässt.

Die obigen Ausführungen beziehen sich auf ein Ventil, welches stromlos offen ist. In analoger Weise lässt sich das beschriebene Verfahren auch für Ventile einsetzen, welche stromlos geschlossen sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Drucks eines Fluids oder des an einem Stellgerät vorliegenden Differenzdrucks, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Druckmessung ein elektromagnetisch ansteuerbares Stellgerät (4) herangezogen wird, welches
 - eine elektromagnetische Anordnung umfasst, bei der mittels der Ansteuerung einer Erregerspule ein mechanisches Betätigungselement bewegbar ist, und
 - eine Ventilbetätigungseinrichtung zum Öffnen und Schließen des Stellgeräts umfasst, wobei das Betätigungselement auf die Ventilbetätigungseinrichtung (1) eine mechanische Kraft zum Öffnen und/oder Schließen des Stellgeräts ausübt, und wobei mit einem elektrischen Regelkreis die Position des Ventilbetätigungseinrichtung oder die magnetische Kraft geregelt wird, in dem die auf die Ventilbetätigungseinrichtung wirkende hydraulische Kraft durch Messung der auf das Betätigungselement wirkenden magnetischen Kraft vorzugsweise elektrisch gemessen und daraus der Druck in der Fluidleitung und/oder die im Stellgerät vorliegende Druckdifferenz bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Stellgerät in ein hydraulisches Bremsensteuergerät eingebaut ist und neben der Funktion als Sensor-Element dieses Element gleichzeitig für eine Druckregelaufgabe als Aktor-Element genutzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein Rückstellelement (2) zum Öffnen oder Schließen des Schließelements bei nicht erregter Erregerspule und ein Ventilsitz (3) vorhanden ist, in den

das Schließelement zum Öffnen oder Schließen des Stellgeräts eingreift.

4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass zum Ermitteln eines Stroms zur Positionierung der Ventilbetätigungseinrichtung auf zuvor bestimmte individuelle Kenngrößen, Kennlinien oder Kennfelder zurückgegriffen wird, wobei diese individuellen Kenngrößen, Kennlinien oder Kennfelder insbesondere durch eine Kalibrieroutine, welche das Stellgerät im drucklosen Zustand ausmisst, bestimmt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass für die Berechnung der stellgerätespezifischen Kenngrößen, Kennlinien oder Kennfelder der Öffnungsweg l und/oder die Federkraft F_{Feder} und/oder der magnetische Widerstand des Stellgeräts bestimmt wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass eine Kalibrieroutine durchgeführt wird, bei der neben den durch die eine Messroutine ermittelten stellgerätespezifischen Kenngrößen KG_{ind} auch allgemeine, baureihenspezifische Kenngrößen KG_{all} herangezogen werden.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass in der Kalibrieroutine die Stoßelkraft und/oder der magnetische Widerstand R_M in der vollständig geöffneten und/oder vollständig geschlossenen Position des Stellgeräts bestimmt wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass aus dem magnetischen Fluss

die magnetische Kraft bestimmt wird.

9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass die an der Erregerspule als Folge einer Stromänderung induzierte Spannung gemessen und insbesondere integriert wird.
10. Elektrohydraulische Druckregelvorrichtung mit mindestens einem Stellgerät zum Regeln des Drucks, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein für die Druckregelung vorgesehenes Stellgerät zur Messung des Drucks herangezogen wird, wobei insbesondere in der Druckregelvorrichtung das Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9 durchgeführt wird.

Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zum Messen eines Fluiddrucks mittels eines Stellgeräts

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Drucks eines Fluids oder des an einem Stellgerät vorliegenden Differenzdrucks, bei dem zur Druckmessung ein elektromagnetisch ansteuerbares Stellgerät (4) herangezogen wird, wobei mit einem elektrischen Regelkreis die Position der Ventilbetätigungseinrichtung oder die Kraft, welche auf ein Ventilbetätigungselement wirkt, geregelt wird.

(Fig. 2)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.